

Conception d'une couche logicielle de pilotage pour un robot ventouse dérivé d'une plateforme CNC

Camara Blomkoum, Colombani Esteban

Encadrant : M. Halim Djerroud



Cadre du stage

Stage de fin d'étude de Bachelor Universitaire de Technologie à L'Institut Universitaire de Technologie de Vélizy

- **Intitulé** : Co-Construction Humain-Robot avec Planification Locale Adaptative : Développement d'un Système Collaboratif sur Plateforme CNC
- **Durée du stage** : 16 mars - 19 mai (301 heures)
- **Lieu** : Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles (LISV)

Finalité du stage

Objectif du projet

Développer une architecture logicielle de contrôle CNC visant à servir de base à un système de planification adaptative dans un contexte de collaboration humain-robot

Rôle de l'API développée

- Communication avec LinuxCNC
- Abstraction du GCode
- Supervision des états machine
- Base d'exécution pour un planificateur

Compétences mobilisées

- Intégration réseau et architecture logicielle
- Intégration de matériel robotique
- Calibration et supervision système

Machine CNC

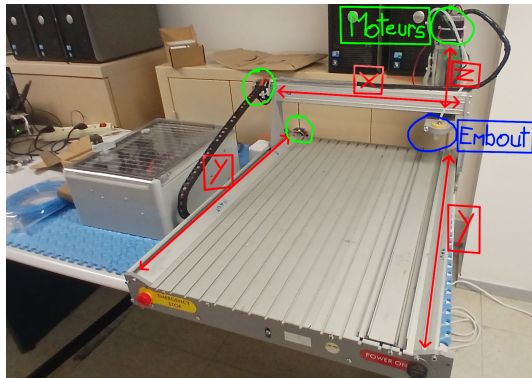
Définition

Machine-outil automatisée contrôlée par ordinateur. Exécute des instructions GCode pour usiner des pièces avec précision.

Objectif : Permettre un contrôle précis, programmable et automatisé.

Composants :

- Servo moteurs pas à pas STEPPERONLINE
- Outil de dessin **GENMITSU** / Bloc électrovanne pneumatique
- LinuxCNC



Vue d'ensemble de l'installation

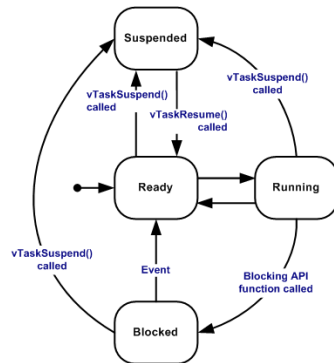
Real Time (RT)

Définition

Système informatique capable de répondre à des   v  nements dans un délai strict et prévisible. Essentiel pour les machines industrielles où le timing est critique.

LinuxCNC

Logiciel open source de contrôle de machines CNC. Il permet de piloter des machines-outils avec une grande précision en utilisant des composants temps réel.



Cycle de gestion interne des tâches

HAL

Définition

Hardware Abstraction Layer -- Couche d'abstraction matérielle qui permet de connecter les composants logiciels aux entrées/sorties physiques.

Composition

- 1 **Coté physique** : port parallèle Machine CNC
- 2 **Coté logiciel** : Logiciel de contrôle numérique LinuxCNC
- 3 **Couche d'abstraction** : Fichier HAL

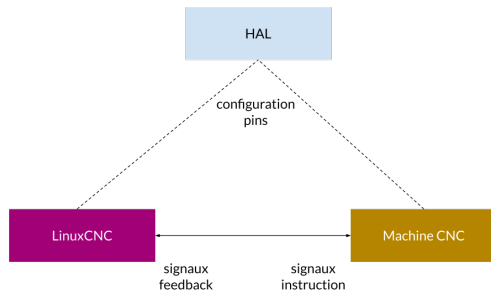


Diagramme de composition

Problématique

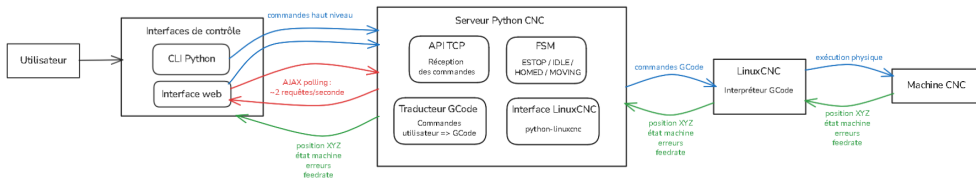
Limites

- Dépendance à l'environnement temp réel et du système d'exploitation
- Faible utilisabilité du au controle numérique bas niveau
- Peu de visibilité sur l'état de la machine

Objectif

Développer une architecture logicielle permettant :

- Une abstraction du GCode
- Un contrôle local et distant
- Une interaction sécurisée avec la CNC



Schema Conceptuel

Paradigme Client-serveur

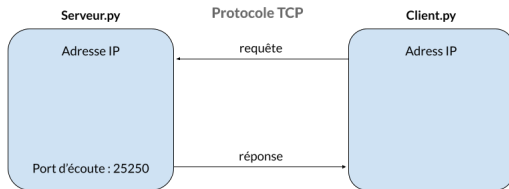


Figure – Modelisation du système

Client :

- Parse les commandes entré par l'utilisateur
- Envoie les requêtes TCP
- Reçoit et affiche une response du serveur

Seveur :

- Reçoit et interprete les commandes du client
- Vérifie les états machine
- Traduit en GCode
- Execute une instruction via LinuxCNC et renvoie le resultat au client

Synchronisation des états

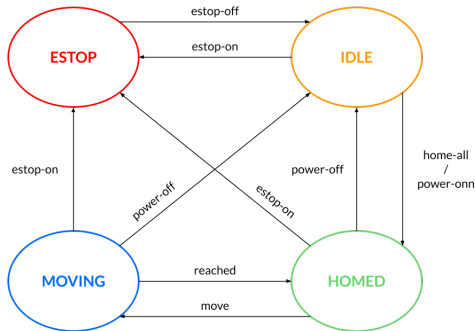


Figure – Schema FSM

Machine à état fini FSM

- **ESTOP** : état d'arrêt d'urgence, dans lequel toute interaction est bloquée
- **IDLE** : machine sous tension mais inactive
- **HOMED** : machine initialisée et prête à exécuter des commandes
- **MOVING** : machine en cours d'exécution d'un mouvement

Exemple

Impossible d'exécuter un mouvement si la machine n'est pas HOMED.

Spécifications Interface CLI

Développement d'une interface CLI Python permettant le pilotage local et distant d'une machine CNC via TCP/IP

Comportement attendu

- 1 **Interaction utilisateur** : interprétation et validation des commandes terminales envoyées à la machine
- 2 **Fiabilité** : exécution cohérente des commandes et gestion des erreurs de communication ou d'état machine
- 3 **Portabilité** : Facilité d'installation et de configuration dans un environnement nouveau

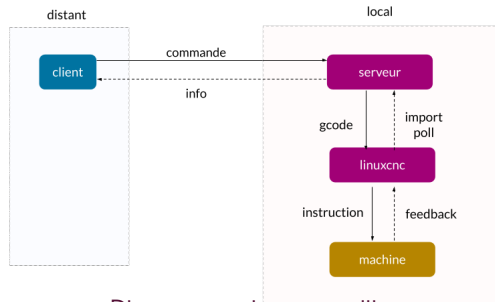
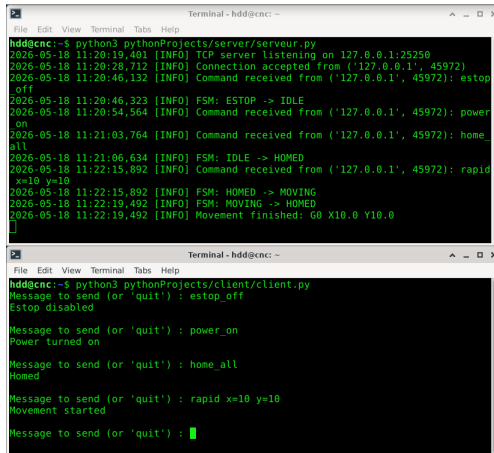


Diagramme de composition

Interface CLI



```
Terminal - hdd@cnc: ~
File Edit View Terminal Tabs Help

hdd@cnc:~$ python3 pythonProjects/server/serveur.py
2026-05-18 11:20:19,401 [INFO] TCP server listening on 127.0.0.1:25250
2026-05-18 11:20:28,712 [INFO] Connection accepted from ('127.0.0.1', 45972)
2026-05-18 11:20:46,132 [INFO] Command received from ('127.0.0.1', 45972): estop
off
2026-05-18 11:20:46,323 [INFO] FSM: ESTOP -> IDLE
2026-05-18 11:20:54,564 [INFO] Command received from ('127.0.0.1', 45972): power
on
2026-05-18 11:21:03,764 [INFO] Command received from ('127.0.0.1', 45972): home_
all
2026-05-18 11:21:06,634 [INFO] FSM: IDLE -> HOMED
2026-05-18 11:22:15,892 [INFO] Command received from ('127.0.0.1', 45972): rapid
x=10 y=10
2026-05-18 11:22:15,892 [INFO] FSM: HOMED -> MOVING
2026-05-18 11:22:19,492 [INFO] FSM: MOVING -> HOMED
2026-05-18 11:22:19,492 [INFO] Movement finished: G0 X10.0 Y10.0
█

Terminal - hdd@cnc: ~
File Edit View Terminal Tabs Help

hdd@cnc:~$ python3 pythonProjects/client/client.py
Message to send (or 'quit') : estop_off
Estop disabled

Message to send (or 'quit') : power_on
Power turned on

Message to send (or 'quit') : home_all
Hommed

Message to send (or 'quit') : rapid x=10 y=10
Movement started

Message to send (or 'quit') : █
```

Bilan Interface CLI

Avantages

- Interface légère et rapide à déployer
- Contrôle direct des commandes CNC
- Utilisable localement ou à distance via le réseau

Limites

- Absence de visualisation graphique de la machine
- Retour d'état peu lisible pour un utilisateur non technique
- Difficulté de supervision temps réel des mouvements

Constat

L'utilisation exclusive d'une interface terminale limite fortement la supervision temps réel et l'accessibilité du système pour des utilisateurs non experts.

Spécifications API Python

Développement d'une API Python
de haut niveau permettant
l'abstraction des commandes
GCode et le contrôle sécurisé de la
machine CNC

Comportement attendu

- 1 **Abstraction** : transformation des commandes utilisateur en instructions compatibles LinuxCNC
- 2 **Fiabilité** : validation des paramètres et contrôle des états machine avant exécution
- 3 **Extensibilité** : ajout simplifié de nouvelles commandes ou fonctionnalités

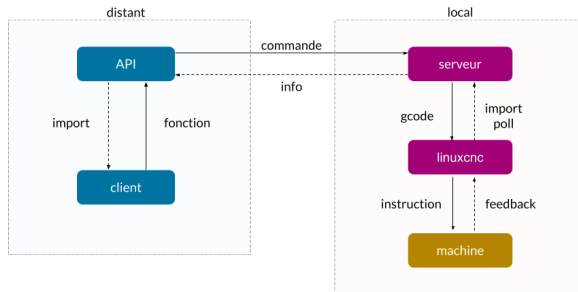


Diagramme de composition

Bilan API Python

Apports

- Centralisation des commandes CNC
- Réduction de la complexité liée au GCode
- Validation logicielle avant exécution machine

Limites

- Dépendance à LinuxCNC
- Retour visuel limité sans interface graphique
- Supervision du mouvement insuffisante dans un contexte purement logiciel

Constat

L'API permet un contrôle fiable de la machine, mais ne fournit pas seule les mécanismes nécessaires à une supervision temps réel intuitive.

Spécifications Plateforme Web

Développement d'une interface web Flask permettant le pilotage, la supervision et la synchronisation temps réel d'une machine CNC

Comportement attendu

- 1 **Intuitivité** : Facilité à comprendre et utiliser les fonctionnalités de l'interface
- 2 **Interaction sécurisée** : contrôle des commandes utilisateur via validation front-end et serveur
- 3 **Synchronisation** : Visualisation de l'état et des coordonnées de la machine en direct

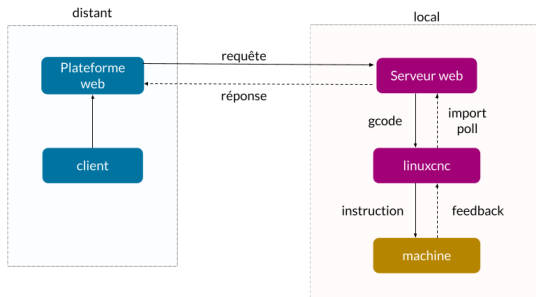


Diagramme de composition

Interface web

E StopPower OffHomePump ON

Machine State

FSM
HOMED

Y
0.000

Feedrate
500.0

X
0.000

Z
0.000

Movement
Non

Rapid move

Rapid move

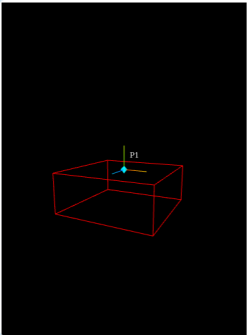
X

Y

Z

Erase

Send



Spindle

100

Feedrate

500

Bilan Plateforme Web

Apports

- Supervision temps réel de la machine
- Interface plus accessible pour l'utilisateur
- Contrôle centralisé des commandes CNC

Limites

- Rafraîchissement dépendant du polling HTTP
- Complexité de synchronisation front/back
- Gestion asynchrone du mouvement encore perfectible

Problématique rencontrée

La synchronisation de l'état MOVING entre LinuxCNC, le serveur Flask et l'interface web a nécessité une gestion asynchrone spécifique afin d'éviter les incohérences d'affichage côté client.

Démo



Références I